Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Mobility & Infrastructure

Aan:	Projectteam Groene rivier Well
Van:	Martin de Kant
Datum:	05 juli 2024
Kopie:	-
Ons kenmerk:	20240705_BJ1000_W3420-3.13_Kasteel risico analyse dierlijke graverij_C01
Classificatie:	projectgerelateerd
Gecontroleerd door	Albert Wiggers

Onderwerp: **Kasteel Well – Risico analyse dierlijke graverij**

1 Inleiding

Deze notitie maakt onderdeel uit van het voorontwerp Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well, en is een bijlage bij het technisch ontwerp waterkering kasteel (VO) **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**ref 1].

Op het terrein van de omwalling zijn beversporen aangetroffen. De aanwezigheid van bomen en water zullen mogelijk ook andere dieren aantrekken. In deze bijlage wordt de kans op overschrijding van de faalkanseis voor dierlijke graverijen getoetst volgens de systematiek zoals beschreven in het veiligheidsraamwerk dierlijke graverijen uit 2022 [ref 3]. In eerste instantie wordt hierbij alleen gekeken naar schade door bevers. Bevers creëren in vergelijking tot andere dieren relatief veel schade. De gedachte is dat op deze wijze ook falen als gevolg van andere dierlijke graverijen wordt beheerst.



Figuur 1-1: Beverschade en graverij omwalling kasteel Well

2 Systematiek

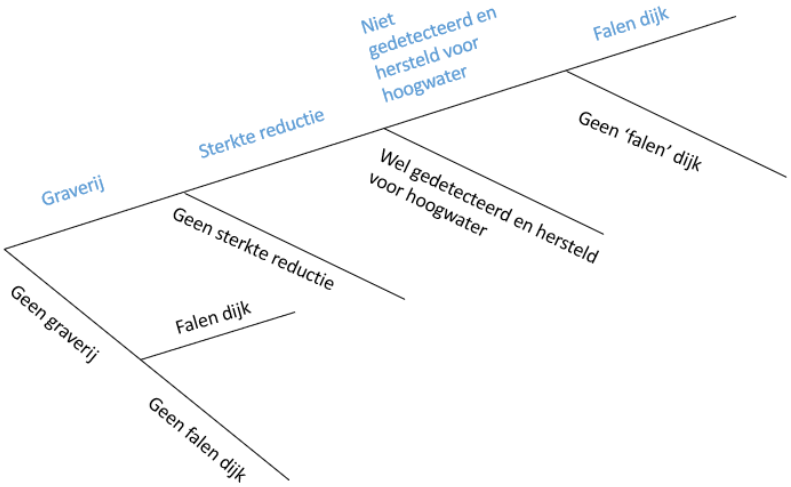
Analoog aan de aanpak voor windworp **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**ref 1, bijlage 9] wordt de kans op overstroming door graverijen als volgt gedefinieerd. De kans op een overstroming is het product van de kans op de aanwezigheid van graverijen, de conditionele vervolgkans op hoogwater vóórdat de

schade door graverijen hersteld is en de conditionele vervolgkans op falen van de dijk ten tijde van dit hoogwater met een overstroming als gevolg. In formulevorm:

$$P_{overstromen\ door\ graverij} = P_{f;graverij} \cdot P_{geen\ herstel} \cdot P_{f;hoogwater}\ P_{f;dijk}$$

Waarin

$P_{\text{overstroming door graverij}}$	de overstromingskans door graverij
$P_{f;graverij}$	de kans op graverij
$P_{f;geen\ herstel}$	de kans dat de schade niet hersteld is vóór hoogwater
$P_{f;hoogwater}$	de kans op een hoogwatersituatie waarbij de dijk faalt
$P_{f;dijk}$	de kans op een overstroming gegeven niet herstelde schade door windworp en gegeven een hoogwatersituatie



Figuur 2-1: Generieke gebeurtenissenboom voor het beoordelen van een waterkering met invloed van een graverijen

3 Faalkansen graverijen

3.1 Faalkanseis

De faalkanseis voor dierlijke graverijen wordt gelijkgesteld aan de faalkanseis voor het falen van begroeiing, zoals beschreven in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**ref 1, bijlage 9]. Als eerste benadering wordt ervan uitgegaan dat een faalkansruimte van 10% past binnen de beschikbare faalkansruimte van 30% voor "Overige mechanismen" van de toelaatbare kans op overstroming van het dijktraject. Andere belangrijke mechanismen die binnen deze post vallen zijn: windworp, en de uitval van de mobiele pompen.

Bij het bepalen van de faalkanseis moet rekening worden gehouden met het lengte-effect. Het lengte-effect houdt in dat de faalkans van de dijkring groter is dan faalkans van een doorsnede met de maximale faalkans, omdat belasting en sterkte langs de waterkering kunnen variëren waardoor de belasting als het ware vaker de gelegenheid heeft de sterkte te overtreffen. De formule voor het lengte effect per vak is als volgt:

$$N_{\square} = 1 + \frac{a \cdot L}{b} = 1 + \frac{0{,}8 \cdot 350}{10} = 29$$

Waarin:

N Factor voor het lengte-effect: op te vatten als het aantal equivalente, onafhankelijke (fictieve) vakken waar het betreffende faalmechanisme een rol speelt.

L Lengte van het traject (m)

a Fractie van de trajectlengte die gevoelig is voor het beschouwde faalmechanisme (-). De delen met een harde kering (circa 70m) zijn niet gevoelig voor graverij. Factor a is daarmee 1-70/350 = 0,8.

b Lengtemaat die de grootte van het lengte-effect binnen de mechanismegevoelige lengte weergeeft (m). Hiervoor wordt 10m aangenomen; schademechanismen als gevolg van een graverij zal naar verwachting een lokaal mechanisme met een breedte van 10m introduceren.

De resulterende faalkanseis voor graverijen op de omwalling van het kasteel is dan:

$$P_{eis;NWO} = w \cdot \frac{P_{max}}{N_{\square}} = 0{,}01 \frac{0{,}01}{29} = 3{,}5e^{-6}\ per\ jaar$$

3.2 Kans optreden graverij

De kans op het optreden van graverijen gegeven de maatregelen die hiertoe worden genomen is niet rekenkundig af te leiden, en kan slechts worden ingeschat. In het DO zal deze kans samen met de beheersorganisatie van het waterschap moeten worden bepaald. Zonder maatregelen is deze kans 1 (er zijn immers nu bevers actief. Als er in de toekomst graverijen optreden falen de fysieke maatregelen (gaas, damwand, steenbestorting) en wordt de graverij niet opgemerkt in een beheers ronde, en/of is herstel niet goed uitgevoerd. Deze kans wordt aangenomen op 1% per jaar of wel:

$$P_{f;graverij} = 1e^{-2}\ per\ jaar$$

3.3 Faalkans van herstelwerkzaamheden

Er is geen tijdig herstel als er tijdens een hoogwatergebeurtenis niet-herstelde schade is door graverijen. Dit kan zijn als graverij voorafgaand aan het hoogwater plaatsvindt en de ontdek- en hersteltijd langer is dan de tijd tot het volgend hoogwater. Er is dus geen tijdig herstel als de hersteltijd overlapt met een hoogwater. Deze kans is vooralsnog gelijk gehouden aan de kans op geen herstel voor windworp **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**ref 1, bijlage 9] maar waarbij de factor 0,5 (alleen schade tijdens winterperiode) niet is toegepast:

$$P_{geen\ tijdig\ herstel} \approx 0{,}05\ per\ jaar$$

3.4 Kans op hoogwater

Zie tabel 4-1 uit **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**ref 1] voor de terugkeertijden van waterstanden. Vanaf waterstanden hoger dan NAP +13,80m (het vloerniveau van de kelder) kan er schade optreden als de dijk bezwijkt. Deze waterstand heeft een kans van optreden van 0,33 á 0,5 per jaar. Bij hogere waterstanden is de kans dat de dijk bezwijkt door graverijen groter omdat een groter deel van het

zandlichaam dan verzadigd is. In deze analyse is aangenomen dat de kans op bezwijken het grootst is bij een waterstand op circa NAP +15m (huidige kruin) met een $P_{f;hoogwater}$ = 0,1.

3.5 Kans op falen van de dijk gegeven een graverij

De grootste bedreiging van bevers op de omwalling van kasteel Well zijn verzakkingen van het talud of de kruin, of erosie van de zandkern. Omdat de dijk geen kleibekleding heeft speelt aantasting van de deklaag hier in mindere mate een rol, al kan de ingang van het hol wel de grasbekleding aantasten hetgeen weer erosie kan veroorzaken. Door de grote initiële doorlatendheid van de dijk is het niet de verwachting dat holtes een groot effect hebben op het verloop van de freatische lijn.

In Tabel 3-1 zijn de meest kritische gebeurtenissen aangegeven bij graverijen door bevers. Voor de deze gebeurtenissen van de kans op falen van de dijk (overstromen) worden ingeschat. Hierbij is gekeken naar het meest kritische (smalle) dwarsprofiel (doorsnede 3). De kans op het instorten van holtes tijdens hoogwater wordt wel heel hoog ingeschat maar de kans dat de holtes vlak onder de kruin zitten en dat hierdoor de kruin verlaagd is aanmerkelijk minder groot, in de analyse wordt uitgegaan van ($P_{f;dijk}$ = 0,01 á 0,1).
Een andere kritische gebeurtenis is de schade aan de grasbekleding van het buitentalud waardoor de zandkern komt bloot te liggen en er zoveel erosie plaatsvindt dat er een doorbraak optreedt. Ook hier wordt aangenomen dat de kans $P_{f;dijk}$ = 0,01 á 0,1.

Tabel 3-1: Faalpad analyse graverijen door bevers

	Gebeurtenis	Schadebeeld	Effect	Bezwijkmechanisme	$P_{f;dijk}$
1	Graverij bever in binnenteen van de waterkering	Holtes in de zandkern	Verzakken talud of kruin	Overstromen (hoogte)	0,01 a 0,1
2	Idem	Schade aan kleibekleding	Microinstabiliteit binnentalud, uitspoelen zand	doorbraak	0,01 a 0,1
3	Graverij bever in buitenteen van de waterkering	Holtes in de zandkern	Verzakken talud of kruin	Overstromen (hoogte)	0,01 a 0,1
4	Idem	Schade aan grasbekleding	Erosie buitentalud, uitspoelen zand	doorbraak	0,01 a 0,1

4 Toetsing

In Figuur 4-1 zijn de kansen (op graverij, kans op geen herstel, de kans op hoog water, en de faalkans van de dijk per faalmechanisme) gecombineerd tot de gebeurtenissenboom voor het falen van de dijk als gevolg van graverijen. Met de conservatieve inschatting van de schadekansen van Tabel 3-1 is de berekende resulterende kans op overstromen 2,0 e-5 per jaar. Deze kans is groter dan de faalkanseis van 3,45e-06, waarmee er niet wordt voldaan aan de norm. Pas als een faalkansruimte van w=7% wordt gereserveerd uit de post “overige mechanismen” zou er worden voldaan.
Als de schadekansen van Tabel 3-1 met een factor 10 worden verkleind (minder conservatief) dan wordt met w=1,0% voldaan.

Opgemerkt wordt dat de analyse betrekking heeft op doorsnede 3, aan de noord-oostzijde. Dit is het smalle profiel met steile buitentaluds. Aan de west,- en oostzijde van de omwalling (doorsneden 2 en 5) is er meer buffer aan de buitenzijde en is het risico door graverij kleiner.

Pf;graverij	P geen herstel	Pf; hoog water			P f;dijk		P overstromen door windworp
1,00E-02	5,00E-02	1,00E-01	NAP+15,0m	mech 1	1,00E-01	aanname	5,00E-06
				mech 2	1,00E-01	aanname	5,00E-06
				mech 3	1,00E-01	aanname	5,00E-06
				mech 4	1,00E-01	aanname	5,00E-06
							2,00E-05 per jaar
			w=	0,01	eis --> 3,45E-06	per jaar	dus voldoet niet
			w=	0,07	eis --> 2,41E-05	per jaar	dus voldoet

Pf;graverij	P geen herstel	Pf; hoog water			P f;dijk		P overstromen door windworp
1,00E-02	5,00E-02	1,00E-01	NAP+15,0m	mech 1	1,00E-02	aanname	5,00E-07
				mech 2	1,00E-02	aanname	5,00E-07
				mech 3	1,00E-02	aanname	5,00E-07
				mech 4	1,00E-02	aanname	5,00E-07
							2,00E-06 per jaar
			w=	0,01	eis --> 3,45E-06	per jaar	dus voldoet
			w=	0,01	eis --> 3,45E-06	per jaar	dus voldoet

Figuur 4-1: faalkansanalyse graverij voor een faalkans ruimte van w=1%, en w=20%.

De beschreven analyse is overwegend kwalitatief en heeft een grote mate van onzekerheid maar toont wel aan dat graverij door met name bevers aan de zuid,- en noordzijde van de omwalling een aantoonbaar risico vormt voor de waterveiligheid van het kasteel. Een belangrijke conclusie is dat er een groot deel van het risico kan worden beheerst als er een goed beheersplan is waarbij graverijen tijdig worden opgemerkt en hersteld. De inrichting van de omwalling dient hiervoor de faciliteiten te bieden.

5 Eventuele maatregelen

Als de benodigde faalkansruimte van circa 5 a 10% (uit de post overige mechanismen) niet kan worden toegewezen aan dit mechanisme, omdat er andere mechanismen of risico's zijn die daar dar ook aanspraak op maken dan moeten er maatregelen worden getroffen.

Preventieve maatregelen kunnen worden onderverdeeld in de volgende drie categorieën [ref 5]:

1. "niet willen", dit is het onaantrekkelijk maken van de waterkering voor het graven of knagen, door bepaalde voorwaarden voor de aanwezigheid van bevers of andere dieren te verplaatsen of weg te nemen.
2. "niet kunnen", dit is het aanbrengen van elementen die het graven van bevers in de waterkering fysiek onmogelijk maken.
3. "overdimensioneren", waarbij de feitelijke waterkering zodanig wordt gedimensioneerd dat eventuele graverij de veiligheid tegen overstromen niet aantast.

Het huidige beeld, met veel bomen en beplanting, wordt in de nieuwe situatie gehandhaafd. Het terrein zal aantrekkelijk blijven voor bevers en andere dieren. Categorie 1 maatregelen zijn daarmee niet haalbaar. Over dimensioneren (categorie 3) is ook niet haalbaar bij de kritische doorsneden. Voor de situatie van het kasteel moeten maatregelen worden gezocht in categorie 2.

Huidige maatregelen bestaan uit schrikdraad boven de waterlijn. Dit is aantoonbaar ontoereikend. De meest effectieve maatregel is het aanbrengen van een damwand of verticaal (bever)gaas onder in het talud. Een houten of kunststof damwand biedt geen bescherming, bevers knagen er doorheen [ref 6].

De damwand of het roestvrijstalen gaas moet minimaal tot een diepte van 0,5 tot 1 meter onder het normale waterpeil reiken om effectief te zijn. In de situatie van het kasteel is dat tot een diepte van NAP +11,2m. Door de maatregel zoveel mogelijk aan de onderzijde van het talud de positioneren is de impact op boomwortels het kleinst en wordt ook de hoogte van het scherm gelimiteerd.
Het gaas kan (net als de damwand) zonder (grote) graafwerkzaamheden met een hydraulische kraan worden ingebracht (zie Figuur 5-1). Als het werken vanaf de omwalling als gevolg van de aanwezigheid van de bomen niet mogelijk is, kan vanaf een ponton worden gewerkt.



Figuur 5-1: Inbrengen bevergaas (foto's website dpsys.nl)

6 Referenties

ref 1. Gebiedsontwikkling Groene Rivier Well, Technisch ontwerp waterkering kasteel VO, BJ1000_W3410-3
ref 2. Gebiedsontwikkling Groene Rivier Well, Technische Uitgangspunten Notitie Waterkeringen, TUN BJ1000_W3210-2
ref 3. Veiligheidsraamwerk dierlijke graverijen in waterkeringen, Deltares 2022
ref 4. KPR factsheet 'Post overig en indirecte mechanismen' (KPR, 5 oktober 2016)
ref 5. Preventieve maatregelen tegen graverij van muskusratten en beverratten, dossier : A7400.01.001, nov 2007
ref 6. Kenniscentrumbever.nl